

Среди официальных регламентов — утвержденные «Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов», методика Региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ) от Института глобального климата и экологии, пять альтернативных методик, отличающихся друг от друга оценкой поглотительной способности.

«Законсервированный» углерод имеет свою стоимость. Если мы организуем карбоновую ферму и доказываем, что она поглощает определенное количество  $\text{CO}_2$ , мы можем продать эти углеродные единицы, или квоты, предприятию, которому надо улучшить свой экологический баланс.

Например, организовать поглощение тонны  $\text{CO}_2$  на ферме примерно стоит 5 евро, а продаем мы эту тонну за 15 евро. Если предприятие платит штраф за каждую тонну в размере 30 евро, такое предложение будет ему интересно. Грубо говоря, бизнес-модель такова: собственник земли получает аттестацию (порядок ее оформления определит будущее законодательство), выпускает и продает ценные бумаги с номиналом в тоннах утилизированного  $\text{CO}_2$ , которые освобождают компанию-партнера от уплаты налога на углеродные выбросы.

Карбоновые фермы уже существуют в Австралии и США. Например, в рамках партнерства с Министерством сельского хозяйства США компания Chevrolet недавно приобрела 40 тысяч квот у 23 владельцев ранчо в Северной Дакоте, которые добровольно пообещали применять методы нулевой обработки почвы на своих пастбищных угодьях.

По различным оценкам, в России общие объемы поглощения углекислого газа лесами могут достигать 250 млн тонн в год. Тем временем Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), оценивает размер платы за тонну выбросов  $\text{CO}_2$  от 30 евро и выше. Собранные средства пойдут на реализацию экопроектов по сдерживанию изменения климата.

**Заключение.** При условии грамотного юридического оформления ежегодно российские леса самим фактом своего существования могут приносить своим владельцам около 7,5 млрд. евро. Повышая качество управления лесами, доход можно увеличить более чем вдвое. При таких возможностях карбоновые фермы будут процветать.

#### Список цитируемых источников

1. Что такое карбоновые фермы и как на них заработать [Электронный ресурс] // Цифровая платформа знаний. Агрокомиссия — Режим доступа : <https://agriecommission.com/news/chto-takoe-karbonovye-fermy-i-kak-na-nih-zarabotat0> . — Дата доступа : 05.05.2022.
2. Чем карбоновый полигон отличается от фермы? [Электронный ресурс] // Минобрнауки России — Режим доступа : [https://www.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/?ELEMENT\\_ID=32364](https://www.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/?ELEMENT_ID=32364) . — Дата доступа : 05.05.2022
3. Карбоновые полигоны помогут промышленности «позеленеть» [Электронный ресурс] // RG.RU. — Режим доступа : <https://rg.ru/2022/03/01/reg-szfo/karbonovye-poligony-pomogut-promyshlennosti-pozelenet.html> . — Дата доступа : [05.05.2022]

УДК 621.628

О. В. Понталев

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

## ОТ ЦИКЛА КАРНО — К ТЕПЛОВЫМ НАСОСАМ

**Введение.** Активное внедрение тепловых насосов в качестве источников тепловой энергии в производстве и быту началось примерно в 70-х годах прошлого века. При этом, мировой уровень использования низкопотенциальной тепловой энергии Земли посредством тепловых насосов постоянно растет и сейчас составляет порядка 24000 ТДж в год при их установленной мощности около 7000 МВт.

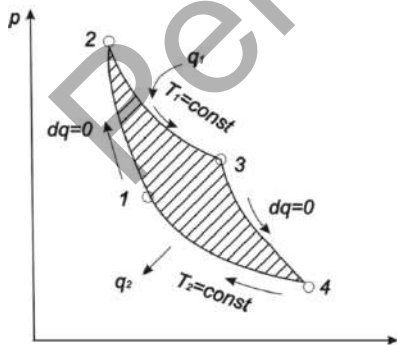


Рисунок 1 — Цикл Карно для теплового двигателя и холодильной установки (теплового насоса)

Происходит внедрение тепловых насосных систем и в производственные объекты Республики Беларусь, так, например, в Гродненской области в период 2005—2019 годы запущены в эксплуатацию насосные установки на 8 предприятиях, с целью снижения потребления органического топлива и повышения рентабельности производства. Также, одним из крупных потребителей органического топлива является жилой фонд, на теплоснабжение которого расходуется до 35 % от общего потребления энергоресурсов.

Исходя из этого и учитывая энергетическую и экологическую эффективность теплового насоса появляется возможность его использовать в качестве альтернативного варианта при отоплении жилого фонда [1, с. 2].

**Основная часть.** Теоретическое обоснование принципа работы теплового двигателя и холодильной установки (теплового насоса) было отражено в цикле Карно (рисунок 1), который он сформулировал в материалах своей диссертации в 1824 г.

Однако теплонасосную систему, пригодную для практического использования представил общественности лорд Кельвин в 1852 году (она аккумулировала тепловую энергию в одной или нескольких точках и передавала ее к источнику потребления посредством системы коллекторов).

В дальнейшем эта система была усовершенствована в 1855 году австрийским инженером Петером Риттер фон Риттингером и поэтому, именно его считают изобретателем первого теплового насоса. Практическое же применение тепловой насос приобрёл значительно позже, а точнее в 40-х годах XX века, когда изобретатель Роберт Вебер экспериментировал с холодильной машиной [2, с. 33].

Тепловой насос — это холодильная установка, отбирающая теплоту низкого потенциала из окружающей среды и, за счёт затраченной работы, отдающая потребителю теплоту высокого потенциала рабочим телом (хладагентом). Хладагент представляет собой вещество с низкой температурой кипения. В тепловых насосах чаще всего в качестве хладагента используются различные фреоны (R407C, R134a, R410a), а также углекислый газ и пропан.

Принципиальное отличие между тепловым насосом и холодильной установкой заключается в их коэффициентах преобразования теплоты. Данное различие определим на примере работы геотермального теплового насоса (рисунок 2). Сухой насыщенный пар хладагента адиабатно сжимается в компрессоре 1 до состояния перегретого пара. Из компрессора перегретый пар поступает в конденсатор 2, где при конденсации отдаёт теплоту  $q_1$  воде, циркулирующей в системе отопления по трубопроводу 3, и превращается в жидкость.

Далее эта жидкость подаётся к дросселю 4, пройдя через который она превращается во влажный насыщенный пар со степенью сухости  $x = 0,1 \dots 0,3$ .

Влажный насыщенный пар поступает в испаритель 5, где под действием теплоты  $q_2$ , отбираемой от воды в водоёме 6, влажный насыщенный пар превращается в сухой насыщенный.

Сухой насыщенный пар поступает в компрессор 1 и цикл повторяется.

Эффективность работы теплового насоса оценивается коэффициентом преобразования теплоты  $\psi$  (коэффициентом преобразования электрической энергии в тепловую — COP)

$$\psi = q_1 / l_p,$$

где  $q_1$  — количество тепла, которое подводится к 1 кг рабочего тела, Дж / кг;

$l_p$  — полезная работа, совершаемая рабочим телом (газом), Дж / кг.

Полезная работа и соответственно полезное тепло, которое используется в цикле определяется по формуле

$$l_p = q = q_1 - q_2,$$

где  $q_2$  — количество тепла, которое отводится от 1 кг массы рабочего тела, Дж / кг.

Для оценки эффективности холодильной установки используется холодильный коэффициент, равный отношению количества отведенной теплоты  $q_2$  к полезной работе  $l_p$

$$\varepsilon = q_2 / l_p,$$

Коэффициент преобразования теплоты  $\psi$  и холодильный коэффициент  $\varepsilon$  взаимосвязаны между собой следующим соотношением

$$\psi = \frac{q_1}{l_p} = \frac{q_2 + l_p}{l_p} = \frac{q_2}{l_p} + 1 = \varepsilon + 1.$$

Отсюда следует, что коэффициент преобразования теплоты всегда на единицу больше холодильного коэффициента для той же установки.

При расчете коэффициента преобразования теплоты с учетом температур теплоприемника и конденсатора (обратный цикл Карно) получим

$$\psi = \frac{q_1}{l_p} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}.$$

Для оценки эффективности работы теплового насоса используем реальные условия. Например, будем считать, что температура речной воды, равна  $t_2 = 7^\circ\text{C}$  ( $T_2 = 280\text{ K}$ ), а температура воды в системе отопления —  $t_1 = 77^\circ\text{C}$  ( $T_1 = 350\text{ K}$ ).

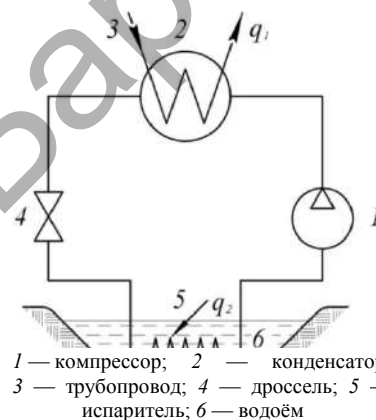


Рисунок 2 — Конструктивная схема геотермального теплового насоса

С учетом данных условий определим теоретическое значение коэффициента преобразования теплоты

$$\psi = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{350}{350 - 280} = 5.$$

Данные расчеты показывают, что тепловой насос передаёт в систему отопления теплоты в пять раз больше, чем затраченная работа на привод компрессора.

Так, например, затратив на работу теплового насоса 1 кВт электроэнергии, в системе отопления мы получим 5 кВт тепловой энергии.

Цикл паровой компрессорной холодильной установки, по которому работает тепловой насос, менее совершенен по сравнению с обратным циклом Карно, поэтому для реальных тепловых насосов значения коэффициента преобразования теплоты находятся в пределах  $\psi = 3 \dots 5$ .

Учитывая, что до 80 % тепловой энергии получается, практически, бесплатно, тепловые насосы в последнее время все чаще используются для отопления помещений.

В зависимости от источника теплоты низкого потенциала тепловые насосы подразделяются на геотермальные, воздушные и использующие низкопотенциальную теплоту искусственного происхождения (сбросные воды, продукты технологических процессов, вытяжной воздух систем вентиляции и др.).

Геотермальные тепловые насосы используют теплоту земли, наземных водоёмов или подземных грунтовых вод. Тепловой режим грунта поверхностных слоев Земли формируется под действием двух основных факторов — падающей на поверхность солнечной радиации и потоком радиогенного тепла из земных недр. Сезонные и суточные изменения интенсивности солнечной радиации и температуры наружного воздуха вызывают колебания температуры верхних слоев грунта. Глубина проникновения суточных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации в зависимости от конкретных почвенно-климатических условий колеблется в пределах от нескольких десятков сантиметров до полутора метров. Глубина проникновения сезонных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации как правило не превышает 15—20 м.

Иногда к системам, использующим тепло Земли, относят и системы использования низкопотенциального тепла открытых водоёмов, естественных и искусственных. Системы, использующие низкопотенциальное тепло водоёмов, относятся к открытым, как и системы, использующие низкопотенциальное тепло грунтовых вод.

Замкнутые системы, в свою очередь, делятся на горизонтальные и вертикальные.

Горизонтальный грунтовой теплообменник устраивается, как правило, рядом с домом на небольшой глубине (но ниже уровня промерзания грунта в зимнее время). Использование горизонтальных грунтовых теплообменников ограничено размерами имеющейся площадки.

Вертикальные грунтовые теплообменники позволяют использовать низкопотенциальную тепловую энергию грунтового массива, лежащего ниже «нейтральной зоны» (10—20 м от уровня земли).

Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками не требуют участков большой площади и не зависят от интенсивности солнечной радиации, падающей на поверхность [3, с. 17].

Вертикальные грунтовые теплообменники эффективно работают практически во всех видах геологических сред, за исключением грунтов с низкой теплопроводностью, например, сухого песка или сухого гравия. Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками получили очень широкое распространение.

При эксплуатации грунтового теплообменника может возникнуть ситуация, когда за время отопительного сезона температура грунта вблизи грунтового теплообменника понижается, а в летний период грунт не успевает прогреться до начальной температуры — происходит понижение его температурного потенциала. Потребление энергии в течение следующего отопительного сезона вызывает еще большее понижение температуры грунта, и его температурный потенциал еще больше снижается. Это заставляет при проектировании систем использования низкопотенциального тепла Земли рассматривать проблему «устойчивости» таких систем. Часто энергетические ресурсы для снижения периода окупаемости оборудования эксплуатируются очень интенсивно, что может привести к их быстрому истощению. Поэтому необходимо поддерживать такой уровень производства энергии, который бы позволил эксплуатировать источник энергетических ресурсов длительное время (100—300 лет).

Воздушные тепловые насосы аккумулируют теплоту окружающего воздуха.

Окружающий воздух является наиболее доступным источником низкопотенциальной теплоты для теплового насоса. Одним из преимуществ, при выборе теплового насоса данного типа, является простая схема монтажа оборудования в систему с уже установленным любым дополнительным источником тепла (например, дизельным, твердотопливным или газовым котлом). Однако стоит учитывать и то, что, ввиду особенностей наших климатических условий с достаточно низкой температурой наружного воздуха в холодное время года, работа теплового насоса в отопительный период является не столь продуктивной. Кроме того, тепловые насосы, принимающие тепло от наружного воздуха, способны работать до температуры — 25 °С, при более низкой температуре автоматика теплового насоса будет переводить теплоснабжение потребителя от другого дополнительного источника.

**Заключение.** Несмотря на высокую эффективность получения тепла и его экологическую чистоту активное использование их сдерживает ряд недостатков.

Для установки теплового насоса необходимы первоначальные затраты: стоимость насоса и монтажа системы составляет 300—1200 долларов на 1 кВт необходимой мощности отопления. Время окупаемости теплонасосов составляет 4—9 лет, при сроке службы 15—20 лет до капитального ремонта.

К недостаткам геотермальных тепловых насосов, используемых для отопления, следует отнести большую стоимость установленного оборудования, необходимость сложного и дорогого монтажа внешних подземных или подводных теплообменных контуров.

Воздушные тепловые насосы менее эффективны (по сравнению с геотермальными), это связано с низкой температурой кипения хладагента во внешнем «воздушном» испарителе.

Общим недостатком тепловых насосов является сравнительно низкая температура нагреваемой воды, в большинстве не более +50...60 °С, причём, чем выше температура нагреваемой воды, тем меньше эффективность и надёжность теплового насоса.

#### Список цитируемых источников

1. Жидович, И. С. Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения многоквартирного жилого фонда на принципах энергосбережения: программа развития ООН в Республике Беларусь / И. С. Жидович. — Минск : Энергосбережение, 2014. — 27 с.
2. Мартыновский, В. С. Тепловые насосы : учебник / В. С. Мартыновский. — М. : Госэнергоиздат, 1955. — 192 с.
3. Малинина, О. С. Тепловые насосы: учебно-методическое пособие / О. С. Малинина. — СПб. : Университет ИТМО, 2016. — 43 с.

УДК 621.436

М. А. Слабчик, В. А. Потапов

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАПАЛЬНОЙ ПОРЦИИ ТОПЛИВА ГАЗОДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ЕГО ВЫХОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

**Введение.** Газодизельный двигатель — двигатель внутреннего сгорания, сконструированный на основе дизельного двигателя (или переделанный из дизельного двигателя), топливом в котором является природный газ (метан) или сжиженные углеводородные газы (пропан—бутан). В конструкцию добавляется топливная аппаратура (испаритель и подогреватель газа, газовый редуктор, смеситель газа с воздухом; баллоны, если двигатель используется на транспортном средстве). Так как температура воспламенения от сжатия газозвушной смеси составляет около 700 °С (дизельное топливо воспламеняется при 320...380 °С), топливный насос высокого давления и форсунки сохраняются, в цилиндры двигателя подаётся запальная порция дизельного топлива (около 10...30 %). Переделанный двигатель также сохраняет возможность работы на дизельном топливе [1, 2].

Объектом исследования является двигатель Д-260, работающий в газодизельном режиме. Двигатель Д-260 устанавливается на тракторы производства МТЗ, которые широко распространены в хозяйствах Республики Беларусь.

Большинство операций при возделывании сельскохозяйственных культур выполняются с помощью тракторов, на которых, в том числе установлен вышеуказанный двигатель. Перспектива повышения топливной экономичности колесных и гусеничных машин видится в решении задач по улучшению эффективности использования доступных и малоэнергосзатратных в производстве видов топлива, таких как газовое, что позволит частично уменьшить расход дизельного топлива, а в итоге снизить себестоимость производимой продукции и повысить рентабельность сельскохозяйственного производства [3]. Таким образом, одно из перспективных направлений, применение в качестве силовых агрегатов на тракторах газодизельных двигателей.

**Основная часть.** Теоретическими и практическими вопросами в области применения газообразных видов топлива на дизельных двигателях занимаются отечественные и зарубежные ученые. Экспериментально найдено подтверждение экономической и экологической эффективности газодизельных двигателей.

В качестве газового топлива может быть использован метан или пропан-бутановая смесь. На основании анализа преимуществ и недостатков метана и пропан-бутановой смеси в качестве моторного топлива однозначно выявлено, что метан имеет более высокое октановое и метановое число, что позволяет его использовать в двигателях с высокой степенью сжатия по сравнению с пропаном (т. е. более применим к дизельным двигателям), стоимость метана ниже стоимости пропан-бутановой смеси [2].

Целью данного исследования является установление влияния величины запальной порции дизельного топлива на основные выходные показатели работы двигателя. Под выходными показателями двигателя под-